Caldasia 24(1) 2002: 15-32

CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN Y EL CLIMA DURANTE EL PLENIGLACIAL MEDIO Y SUPERIOR EN EL VALLE DE TENJO (CUNDINAMARCA, COLOMBIA)

Changes in the vegetation and climate during the middle and upper Pleniglacial in the Tenjo Valley (Cundinamarca, Colombia)

Natalia González Michaels
Luz Angela Forero Trujillo
J. Orlando Rangel-Ch.
Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495, Bogotá, Colombia. natgm@yahoo.com; landux@yahoo.com; jerangel@ciencias.unal.edu.co

RESUMEN

El análisis palinológico de los 6 m superiores de un perfil turboso de la sección V del Valle de Tenjo, permitió evidenciar periodos fríos dominados por vegetación de páramo (pajonales y matorrales) con especies de Poaceae, Asteraceae, Ericaceae e *Hypericum,* y periodos cálidos dominados por bosques de la región andina y de la franja altoandina con especies de *Weinmannia* y Melastomataceae que fueron sustituidos durante algunos periodos por bosques con especies de *Myrica.* En la base de las laderas se establecieron bosques con especies de *Podocarpus* que paulatinamente fueron sustituidos por bosques dominados por especies de *Ilex*, *Panopsis*, *Miconia* y *Xylosma*. En las partes planas se encontraban los bosques de *Alnus acuminata* (vegetación local), que en algunos periodos climáticos muy húmedos disminuyeron su área de distribución con lo cual se favoreció el avance de otros elementos de la vegetación de pantano. En la sección analizada están representados los eventos acaecidos entre 40.000 y 21.000 años A.P., correspondientes a la parte media y superior del Pleniglacial, con los estadiales de Faca (36.000 - 33.500 años A.P.) y Güicán (28.000 - 24.000 años A.P.) y los interestadiales de Tenjo (39.000 - 36.000 años A.P.), Santuario (33.500 - 28.000 años A.P.) y Saravita (24.000 - 21.000 años A.P.).

Palabras clave. Cambio de clima y vegetación, Pleniglacial Medio y Superior, Paleoecología, Valle de Tenjo.

ABSTRACT

The upper part of a sediment profile (deep = 6 m) from Valle de Tenjo formed by peat and clay was studied by pollen analysis. Changes in vegetation and climate (regional and local) were registered. Cold phases dominated by páramo vegetation with Asteraceae, Poaceae, Ericaceae and *Hypericum*, and warm phases dominated by andino and altoandino forests with species of *Weinmannia* and Melastomataceae were established on the near slopes. In some periods the *Weinmannia* forest was replaced by *Myrica* dominated forest type. A *Podocarpus* dominated forest was established near the slopes, but these forests, step by step were replaced by forests of *Ilex, Panopsis*, *Miconia,* and *Xylosma*. In the lower part (plane- terrain) the forest

of *Alnus acuminata* was growing but during the moist periods its dominance decreased and then the marsh and aquatic vegetation increased. The soil column spans the period between 40.000 and 21.000 years B.P., and include the Faca and Guican stadial and Tenjo, Santuario, and Saravita interstadials.

Key words. Climate and vegetation change, Middle and Upper Pleniglacial, Palaeoecology, Valle de Tenjo.

INTRODUCCIÓN

La secuencia de sedimentos del área de la Sabana de Bogotá ha sido objeto de varios estudios de orden estratigráfico y palinológico entre los cuales figuran los de Van der Hammen & González (1963), Dueñas (1977), Hooghiemstra (1984), Kurhy (1988), Helmens (1990), Hooghiemstra & Ran (1994) y Van't Veer & Hooghiemstra (2000). Con el análisis de muestras de pozos profundos en el área de la Sabana, se comprobó que existía una representación continua de polen fósil durante el Plioceno Superior y el Cuaternario. Los diagramas polínicos revelaron que la cuenca sedimentaria de la Sabana de Bogotá podía proveer un registro continuo de polen que reflejara los cambios en la vegetación y así poder relacionarlos con las fluctuaciones del clima. En los depósitos lacustres de la Sabana de Bogotá se encuentra el registro continental más completo de las variaciones climáticas del Cuaternario a nivel mundial (Hooghiemstra & Sarmiento 1991).

En este artículo se presenta una contribución de la visión general del desarrollo histórico de la vegetación en el Valle de Tenjo con base en las asociaciones palinológicas detectadas a lo largo de la sección de sedimentos y su relación con los tipos de vegetación que se establecían en las cercanías del sitio de muestreo y en las laderas cercanas. La composición florística de la vegetación y las condiciones medioambientales que se presentaron durante el Cuaternario Medio en la Sabana de Bogotá están reflejadas de buena manera, y si se utiliza zonación de la vegetación actual es posible deducir la paleoaltitud y paleotemperatura de las paleofloras. El objetivo principal fue dilucidar la influencia de los cambios climáticos sobre la vegetación que se presentaron durante el Pleniglacial Medio y Superior (40.000 años A.P.) en un sector del Valle de Tenjo (Van der Hammen 1986).

GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

Localización

La Sabana de Bogotá tiene una extensión de 4.300 km^2, de los cuales 1.400 km^2 corresponden a la parte plana, que alcanza una altitud de 2.600 m mientras que la parte montañosa con 2.900 km^2 alcanza 3.500 m. Tenjo está ubicado en el departamento de Cundinamarca al Nor-occidente de Bogotá D.C., su cabecera se localiza a los 04º 52' 27" de latitud Norte y 74º 08' 54" de longitud Oeste, a una altitud de 2.600 m. La mayor parte del territorio está constituido por un plano aluvial inundable que llega a 2.600 m y no sobrepasa los 2.800 m, rodeado por dos serranías; el sistema N.W, con elevaciones entre 2.800 y 3.150 m, y el sistema S.E. con una máxima altura de 3.000 m. El área municipal es de 117 km^2, limita por el Norte con los municipios de Subachoque y Tabio, por el Este con Chía y Cota y por el Oeste con Subachoque.

Los cerros que rodean al municipio de Tenjo son rocas sedimentarias del periodo Cretácico y corresponden al Grupo Guadalupe, el cual está subdividido en formaciones Arenisca Dura, Plaeners y Arenisca Labor (Gordillo & Torres 1983). La Formación Sabana consiste principalmente en sedimentos de laguna de

un espesor entre 200 y 400 m. A distintas profundidades se encuentran capas de turba, demostrando que la laguna durante ciertos intervalos se convirtió parcialmente en pantano (Van der Hammen & González 1963). Solamente los pocos metros superiores de la Formación Sabana no contienen sedimentos de laguna o de pantano, sino arcillas depositadas por inundaciones durante las estaciones húmedas. El límite de los sedimentos de laguna con las arcillas de inundación coincide con el principio del mejoramiento del clima durante el final de la última glaciación (Hooghiemstra 1995).

Clima

El régimen de distribución de la precipitación es bimodal-tetraestacional, el monto anual es 780.2 mm con un promedio mensual de 65 mm, alcanza un valor máximo de 95.6 mm en el mes de abril mientras que el valor mínimo de 32.2 mm se presenta en enero. La temperatura anual promedio es 13.5°C, con un máximo de 14.1°C en abril y mayo, y un valor mínimo de 13.1°C en diciembre y enero. La clasificación climática según C. W. Thornthwaite C_2 r B´ 1 a', indica un clima húmedo a semi húmedo mesotermal, con poca o nada deficiencia de agua (Estación meteorológica Granja Providencia # 2120598, municipio de Tenjo).

Vegetación

La vegetación de vastos sectores de la Cordillera Oriental de Colombia ha sido muy caracterizada desde el punto de vista de su composición florística (Cuatrecasas 1934, 1958, Cleef 1981, Sturm & Rangel 1985, Rangel et al. 1997, Rangel 2000).

A nivel local, según Cortés et al. (1999), esta zona se caracteriza por presentar comunidades típicas de la vegetación zonal de la franja altoandina y andina. En la planicie y la base de las laderas las principales comunidades que lo componen son los bosques de *Ilex kuntiana*, *Vallea stipularis* y *Myrcianthes leucoxyla*, y los de *Alnus acuminata* y *Viburnum tinoides.* En la planicie completamente transformada, se establecen los pinares de *Pinus patula* y los prados con *Pennisetum clandestinum*. Las laderas están cubiertas principalmente por bosques de *Xylosma spiculifera* y *Daphnopsis caracasana*, por bosques de Lauráceas donde dominan especies de *Ocotea* y *Persea* y por bosques de *Oreopanax* sp. y *Cordia lanata*. En las partes más altas, los bosques presentan como dominantes a *Weinmannia tomentosa*, *Miconia squamulosa*, *Clusia multiflora*, *Myrsine coriacea*, *Oreopanax floribundum*, *Diplostephium rosmarinifolium* y a *Drimys granadensis*. En la vegetación azonal –en zonas inundables–, se encuentran principalmente los bosques de *Alnus acuminata* acompañado por *Miconia reclinata*, *Ageratina fastigiata*, *Cestrum buxifolium*, *Prunus serotina*, *Baccharis revoluta*, *Solanum nigrum*, *Ludwigia peruviana* y *Equisetum bogotense*.

METODOLOGÍA

Las muestras se tomaron en la hacienda El Meridor, Quinta La Tierrita a 2.620 m en la margen oriental del Valle del municipio de Tenjo (Cundinamarca). Estas se extrajeron a lo largo del perfil del suelo con canaletas metálicas de 50 cm de largo por 2 cm de ancho y 2.5 cm de profundidad. Se cubrieron con plástico y se rotularon para luego ser llevadas al Laboratorio de Palinología del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia para su procesamiento.

Para el análisis de microfósiles se tomaron muestras de 1 cm^3 cada 10 cm cada una a lo largo de la sección desde una profundidad de 7 cm. Para la preparación se utilizó el proceso de acetólisis propuesto por Erdtman (1952). Se añadió Cloruro de Zinc densidad específica 2, para separar por densidad los granos de polen y otros microfósiles. Las muestras de polen fueron montadas en láminas en un medio de gelatina glicerinada.

El análisis se realizó con un microscopio Leitz – Dialux 22 EB a 400x y 1.000x. La identificación de los tipos polínicos a familia y género se hizo con los atlas básicos publicados por Hooghiemstra (1984), Salomons (1986), Kuhry (1988), Velásquez & Rangel (1995) y Bogotá et al. (1996); además de la palinoteca del Laboratorio de Palinología del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia. Como referencias adicionales se utilizaron los trabajos de Faegri & Iversen (1975), Erdtman (1986), Roubik & Moreno (1991) y Blackmore et al. (1994). En la mayoría de los casos se trató de contar, hasta donde fue posible, 300 granos de los elementos "incluidos en la suma de polen" de la vegetación regional, los cuales proporcionan información para la reconstrucción paleoecológica de acuerdo a sus áreas de distribución geográfica, preferencias ecológicas y de hábitat.

Los grupos seleccionados para elaborar los diagramas polínicos (Figuras 1-2) fueron los siguientes:

Elementos frecuentes en la vegetación del páramo:
Bromeliaceae, Caryophyllaceae, Ericaceae, Poaceae, Scrophulariaceae, Solanaceae, Urticaceae, Apiaceae, *Acaena/Polylepis, Arcytophyllum*, *Compuesta tubiliflora, Eryngium*, *Gentiana*, *Gunnera*, *Hesperomeles*, *Hypericum, Lachemilla*, *Lepidium, Lupinus, Lysipomia*, *Monnina*, *Muehlenbeckia*, *Plantago rigida*, *Puya, Rubus, Salvia* y *Sisyrinchium.*

Elementos frecuentes en la vegetación altoandina:
Loranthaceae, Melastomataceae, *Cordia*, *Drimys granadensis*, *Gaiadendron punctatum*, *Geissanthus, Myrica*, *Symplocos, Viburnum y Weinmannia.*

Elementos de la región andina:
Myrsinaceae, Myrtaceae, Papilionoideae, Passifloraceae, Piperaceae, *Acalypha*, *Alchornea*, *Billia, Bocconia*, *Clethra*, *Clusia*, *Croton, Hedyosmum*, *Ilex*, *Miconia*, *Panopsis*, *Podocarpus*, *Quercus*, *Vallea* y *Xylosma.*

Los valores de los taxones con representación baja fueron sumados y aparecen como "otros elementos" según en la categoría que corresponden (Figura 1). Los elementos no incluidos en la suma de polen son aquellos taxones pertenecientes a la vegetación azonal y se les asigna un valor (%) con base en el total de los elementos incluidos en la suma polínica (Figura 2). De esta manera, *Alnus* fue excluido de la suma de polen por formar bosques locales, eliminando así su representación excesiva en el conteo de polen. Procedimientos similares de excluir *Alnus* de la suma de polen han sido utilizados anteriormente por Hooghiemstra (1984), Kuhry (1988) y Van't Veer & Hooghiemstra (2000).

Se efectuó una segregación ecológica (Figura 3) según grupos cuyos componentes se seleccionaron con base en la información de Rangel (1991, 2000), así:

Elementos de pantano:
Cyperaceae, *Hydrocotyle*, *Polygonum, Salix*, *Sphagnum* y *Typha.*

Elementos acuáticos:
Zygnemataceae, *Azolla*, *Botryococcus*, *Isoëtes*, *Mougeotia, Myriophyllum* y *Spirogyra*.

Elementos indicadores de disturbio:
Cyatheaceae, Phytolaccaceae, *Borreria*, *Dodonaea, Hypolepis, Galium*, *Rumex* y *Trema.*

Los valores (%) totales de polen y esporas de cada uno de los taxones y el análisis de agrupamiento de las zonas de polen se realizaron con los programas TILIA, TILIAGRAPH y CONISS (Grimm 1987).

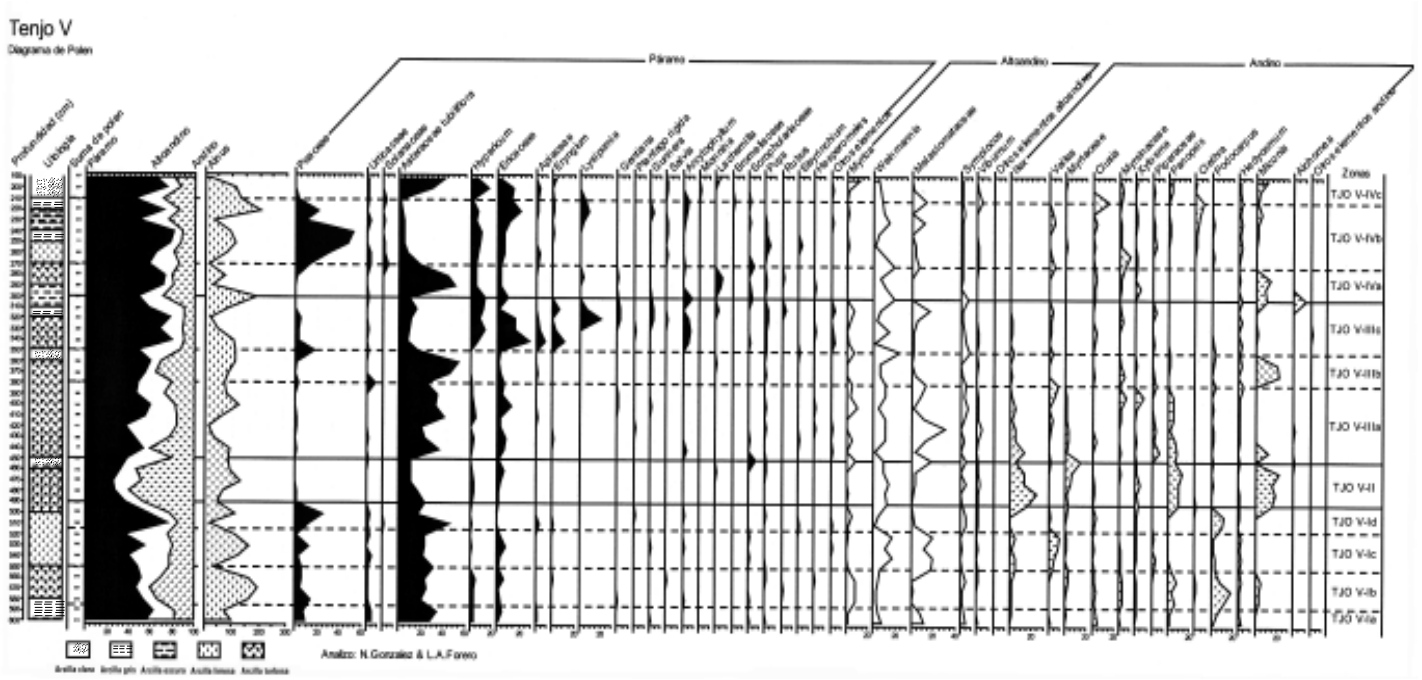

Figura 1. Diagrama palinológico de los elementos incluidos en la suma de polen. Según grupos de la vegetación regional. Sección V Valle de Tenjo.

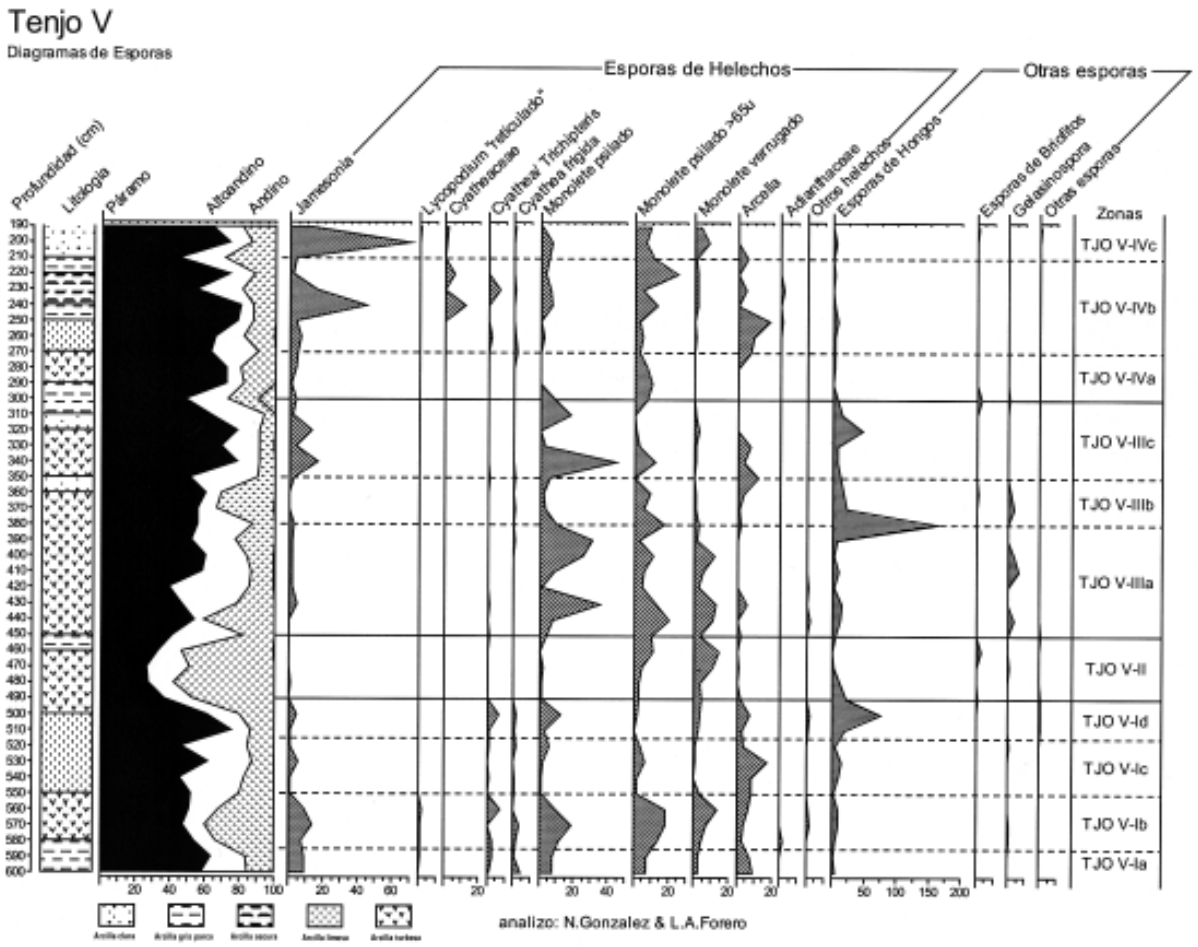

Figura 2. Diagrama palinológico de los elementos **no incluidos** en la suma de polen. Sección V Valle de Tenjo.

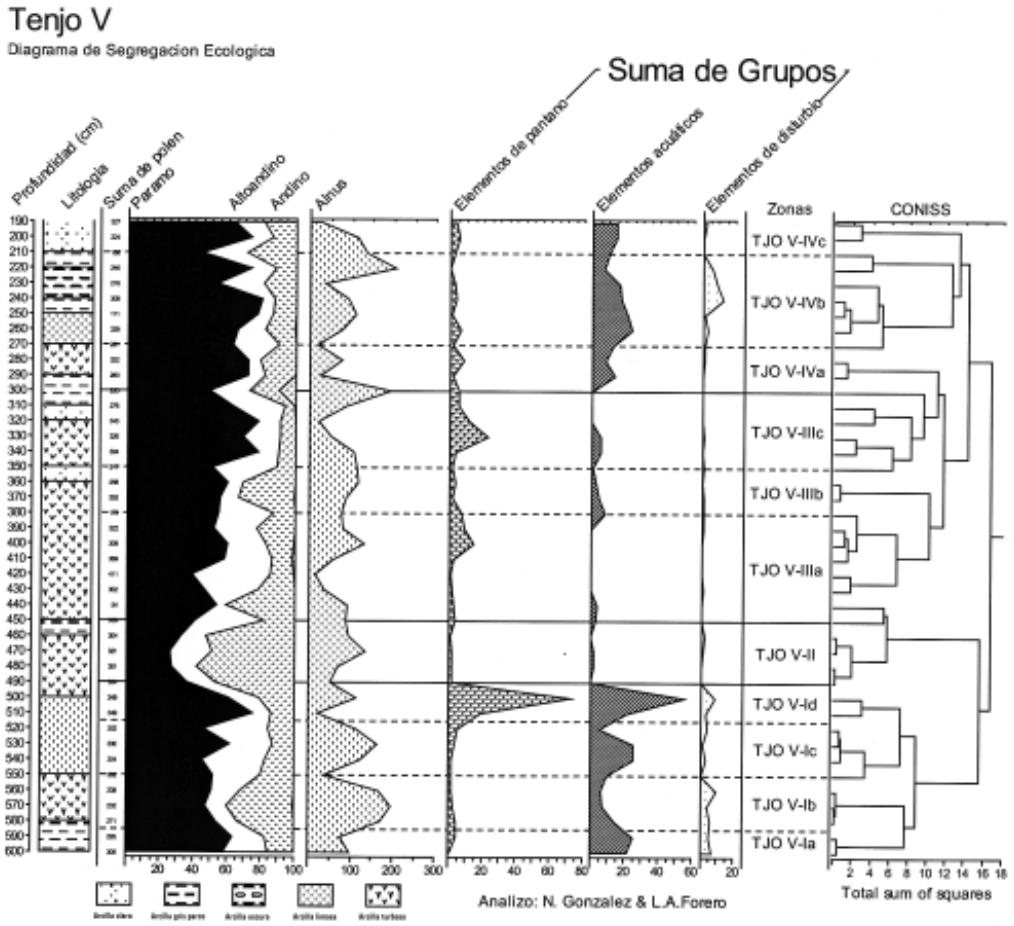

Figura 3. Diagrama palinológico de segregación ecológica (elementos de pantano, acuáticos y disturbio).

Curva de temperatura

El diagrama de la sección Tenjo V se relacionó con la curva de variación del límite superior del bosque y de temperatura basada en las secciones Fúquene, Funza CUX y Zipaquirá (Van der Hammen 1995) (Figura. 4) para establecer las fluctuaciones climáticas durante los estadiales e interestadiales que se presentaron en esta zona. Se tomó como punto de partida el cálculo establecido de descenso de la temperatura al nivel de la Sabana de Bogotá (2.550 m, actual temperatura media anual 13 – 14°C). Los cambios en la posición altitudinal del límite superior del bosque se estimaron con base en el registro de polen, a una tasa de 0.66°C de diferencia por cada 100 m de desplazamiento del límite superior del bosque y una temperatura media anual de 9.5°C para el mismo (Van der Hammen & González 1963). Aunque la humedad tiene influencia sobre el nivel altitudinal de la línea del bosque, el factor más determinante es la temperatura media anual. Los cálculos se basaron en la tabla de Hooghiemstra & Ran (1994), en la cual se relacionan los valores (%) de polen arbóreo (incluido *Alnus*) con la posición altitudinal del límite del bosque y la temperatura media anual sobre la Sabana de Bogotá.

Relaciones con otras secciones de la Sabana de Bogotá

Se compararon las zonas de polen con expresión alta de la vegetación regional y local en determinadas profundidades de la sección Tenjo V con las provenientes de los pozos Ingeominas I (Torres 1995) y Funza II (Hooghiemstra & Ran 1994) (Figura. 5). Las gravas que se encontraron en el perfil a una profundidad de 600 cm, permitieron tomar como base la edad máxima de 40.000 años A.P. que corresponden a las gravas de tipo fluvial-fluvioglacial del Valle de Tenjo, fechadas en 39.650 ± 1.050 – 950 (Van der Hammen 1995).

RESULTADOS

Estratigrafía

En la base de la sección estratigráfica (600 cm) se encuentra una secuencia de gravas características de la zona (Van der Hammen, com.pers). El perfil de suelo presenta en la parte inferior una zona de arcillas y carbón vegetal hasta los 550 cm; después hay una capa de turba que se intercala con restos de material vegetal como troncos, tallos, hojas, raíces y carbón vegetal que llega hasta los 270 cm. En la parte superior se presenta nuevamente un nivel de arcillas con una clara muestra de oxidación - reducción.

Descripción de las zonas de polen

En el diagrama general (Figura 1) se establecieron cuatro zonas con base en el resultado del CONISS como reflejo del espectro polínico.

Zona I (600 cm – 490 cm).

Se caracterizó por el dominio de la vegetación de páramo con valores que variaron entre 45 y 75%. Se dividió en cuatro subzonas con base en las variaciones de los grupos de vegetación propuestos.

Subzona Ia (600 cm – 585 cm).

Dominó la vegetación de páramo con Asteraceae (35%), Poaceae (10%) y Ericaceae (5%). La representación de la vegetación del altoandino fue importante (25%) con taxones como *Weinmannia* (8%) y Melastomataceae (10%). El bosque andino (15%) estaba representado por *Clusia* (5%) y *Podocarpus* (5%). En la planicie, *Alnus* presentó valores que alcanzaron 100%. Los elementos de pantano mostraron valores bajos y fueron superados por los elementos acuáticos con un 20%, especialmente por *Botryococcus* y *Spirogyra*. Entre los elementos no incluidos, las esporas de los helechos estaban representadas en un 40%, *Jamesonia* y Monolete psilado fueron los más importantes.

Subzona Ib (585 cm – 550 cm).
Disminuyó la representación de la vegetación de páramo (50%), especialmente por los valores de Asteraceae (25%) mientras que Poaceae (10%) y Ericaceae (5%) fueron iguales. En la vegetación altoandina (20%), los bosques de Melastomataceae y *Weinmannia* fueron sustituidos por bosques de *Myrica* (10%), posiblemente *Myrica pubescens*. A medida que disminuyó la vegetación de páramo especialmente hacia la parte media de la subzona, se incrementaron los valores de los taxones andinos de 25 a 40%, con elementos importantes como *Podocarpus* (20%), *Panopsis* (8%) y *Miconia* (5%). En la planicie, en áreas inundables, *Alnus* fue muy importante con valores de 190%. La vegetación de pantano tuvo una representación similar a la subzona anterior, con Cyperaceae (3%). Los taxones de la vegetación acuática disminuyeron (Zygnemataceae, 10%). Las esporas de helechos estaban representadas por *Jamesonia* (12%),Monolete psilado(16%) y Monolete verrugado(10%).

Subzona Ic (550 cm – 510 cm).
Se caracterizó por el dominio de la vegetación andina (20%) y altoandina (35%). La vegetación de páramo disminuyó y estaba representada por Asteraceae (20%), Poaceae (10%) y Ericaceae (7%). El bosque altoandino aumentó en comparación con la subzona anterior; como taxones importantes aparecieron, *Weinmannia* (15%) y Melastomataceae (20%). En el bosque andino dominó *Vallea* (10%), *Ilex* y Piperaceae (5%), a su vez el bosque de *Podocarpus* disminuyó. En la planicie, *Alnus* (160%) disminuyó ligeramente con relación a la subzona anterior. En la vegetación de pantano se presentó Cyperaceae (5%); mientras que la vegetación acuática aumentó, particularmente por *Botryococcus* (40%), *Spirogyra* (15%) y *Mougeotia* (10%). Las esporas de helechos disminuyeron, dominaron Monolete psilado (10%) y Monolete verrugado.
Subzona Id (510 cm –490 cm).
La vegetación de páramo dominaba con valores superiores al 70%; como elementos importantes figuraban Asteraceae (45%) y Poaceae (25%), mientras que Ericaceae (2%) disminuyó en comparación con la subzona anterior. El bosque altoandino se redujo (10%) debido a que *Weinmannia* y Melastomataceae disminuyeron significativamente; a su vez *Symplocos* alcanzó valores de 5%. El bosque andino (20%) aumentó con *Podocarpus* (10%). En la planicie, el bosque de *Alnus* disminuyó. Los elementos de pantano como *Hydrocotyle* y *Cyperaceae* aumentaron con valores de 30 y 40%; igualmente lo hicieron los elementos acuáticos que alcanzaron un punto extremo dentro de toda la columna, específicamente por *Botryococcus* (40%) y en menor proporción *Mougeotia* (7%) y *Spirogyra* (5%).

Zona II (490 - 450 cm).
Se caracterizó por el dominio del bosque andino (60%) con valores significativamente altos en relación con la subzona anterior, especialmente por elementos como *Ilex* (15%), *Panopsis* (15%) y *Miconia* (20%), otros de menor importancia incluían a *Xylosma* y a *Clusia* (5%). La vegetación del páramo (30%) estaba representada por Asteraceae (15%), Myrtaceae (10%) y Ericaceae (5%). El bosque altoandino recuperó su vigor (20%), con elementos importantes como *Weinmannia* (15%), Melastomataceae (10%) y *Symplocos* (5%). En la planicie, *Alnus* aumentó (100%). Los elementos de pantano estaban prácticamente ausentes y Cyperaceae era el único presente (5%); la vegetación acuática disminuyó drásticamente y estaba representada únicamente por *Spirogyra* (5%). Las esporas de helechos dominantes eran las de Monolete psilado (10%) y Monolete verrugado (15%).

Zona III (450 cm – 300 cm).
Se caracterizó por el dominio de la vegetación de páramo y un aumento de la representación del bosque altoandino; se subdividió en tres subzonas, así:

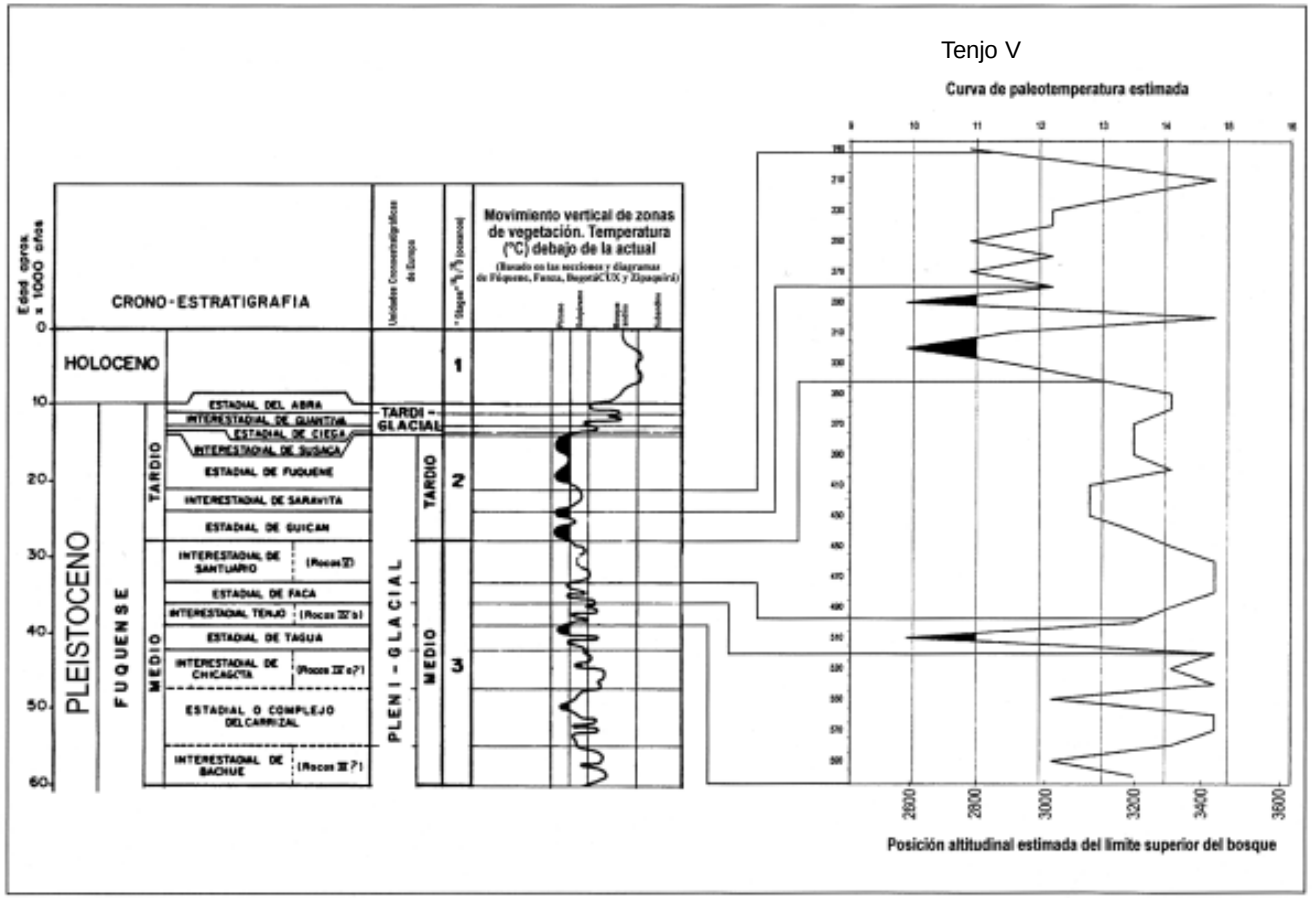

Figura 4. Relaciones entre las fluctuaciones de la temperatura y cambios en la vegetación regional en la sección V del Valle de Tenjo y en otras localidades de la Cordillera Oriental de Colombia.

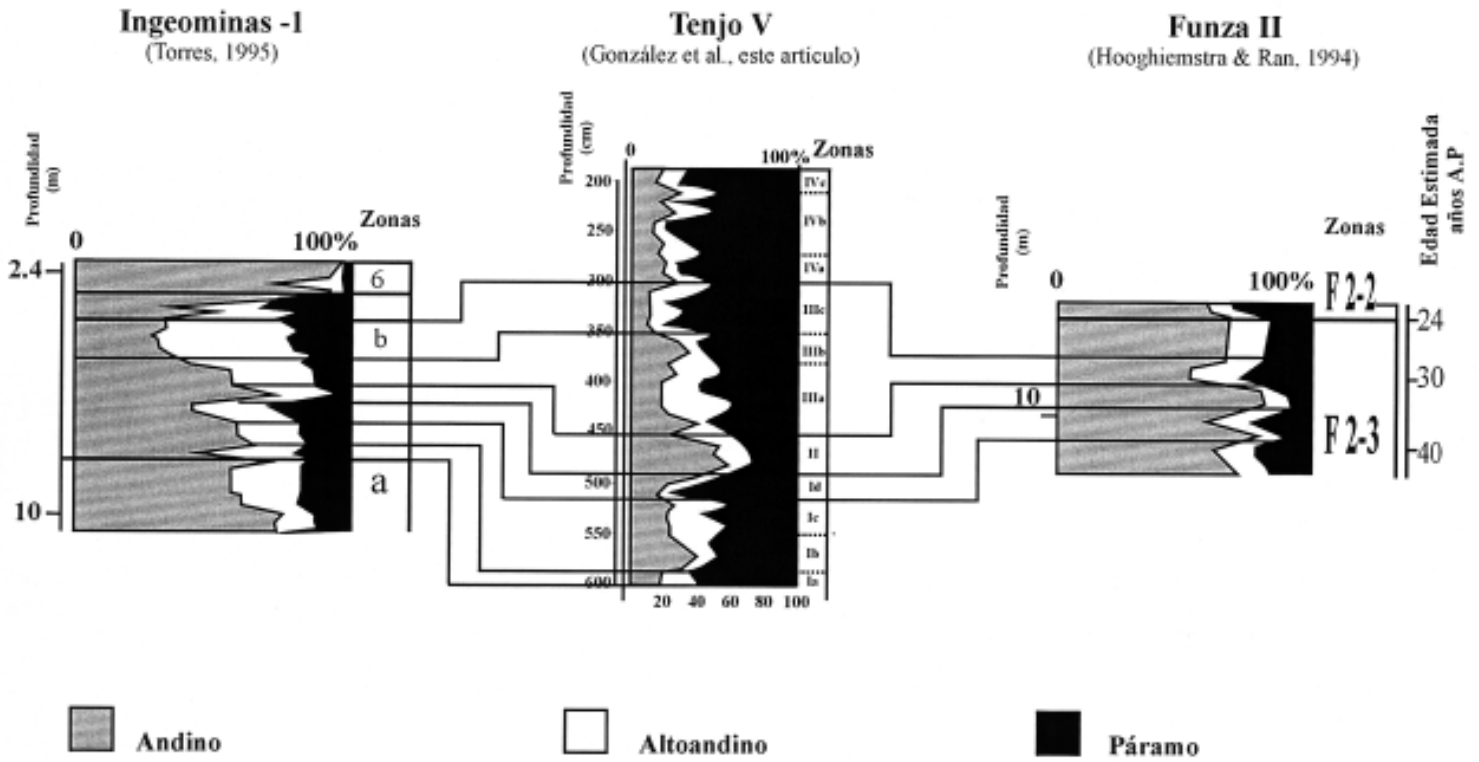

Figura 5. Relación de zonas de polen con expresión alta de la vegetación regional en la sección V de Tenjo y en los pozos Ingeominas I (Ciudad Universitaria, Bogotá) y Funza II (Funza, Cundinamarca).

Subzona IIIa (450 cm – 380 cm).
Aumentó la representación de la vegetación de páramo (60%), los taxones más importantes fueron Asteraceae (40%), Ericaceae (7%), e *Hypericum* (5%). El bosque altoandino incrementó sus valores hasta un 45%, con Melastomataceae (10%), *Weinmannia* (10%) y *Myrica* (5%). El bosque andino disminuyó (15 - 40%), sus elementos dominantes eran *Ilex* (5%), Myrsinaceae (5%), Piperaceae (4%), *Panopis* (10%) y *Miconia* (10%). En la planicie, *Alnus* disminuyó en comparación con la subzona anterior presentando valores entre 20 y 120%. La vegetación de pantano aumentó hacia la parte superior de la subzona; como único elemento figuró Cyperaceae (15%). La vegetación acuática (5%) prácticamente desapareció, mientras que las esporas de helechos aumentaron con Monolete psilado (10%) y Monolete verrugado (15%).

Subzona IIIb (380 cm – 350cm).
Se mantuvo el dominio de la vegetación de páramo (60%), que presentó como dominantes a Asteraceae (50%); mientras que *Hypericum* y Ericaceae disminuyeron con valores menores al 5%. El bosque altoandino se restringió (15%) puesto que *Weinmannia* presentó valores similares a la subzona anterior, mientras que *Myrica* y Melastomataceae (5%) disminuyeron. El bosque andino se incrementó (30%) con *Miconia* (20%), en tanto que *Panopsis*, *Ilex* y Piperaceae disminuyeron. En la planicie, *Alnus* se recuperó alcanzando valores de 100%. Los elementos de pantano representados por Cyperaceae (5%) aumentaron junto con los elementos acuáticos como *Spirogyra* (5%), *Zygnemataceae* y *Botryococcus* con valores menores al 5%. Las esporas de helechos y hongos disminuyeron su representación con valores de 20 y 25 % respectivamente.

Subzona IIIc (350 cm – 300 cm).
La vegetación de páramo incrementó su representación (75%), especialmente por Asteraceae (15%), *Hypericum* (10%), Ericaceae (15%), Apiaceae (5%), *Eryngium* (10%), *Lysipomia* (20%) y *Arcytophyllum* (7%). La representación de la vegetación altoandina aumentó con *Myrica* (5%), *Weinmannia* (10%), *Symplocos* (10%) y Melastomataceae (17%). El bosque andino presentó los valores más bajos de toda la sección (10%), con *Ilex*, *Clusia*, Myrsinaceae, Piperaceae y *Hedyosmum* que tenían valores menores al 5%. En la planicie, *Alnus* presentó valores entre 30 y 150%. En el pantano Cyperaceae alcanzó valores del 20%; entre los elementos acuáticos figuraron *Spirogyra* (7%) hacia la parte baja de la subzona. Las esporas de helechos dominaron con *Jamesonia* (10%) y Monolete psilado (40%). Las esporas de hongos disminuyeron en la parte baja de la subzona y aumentaron hasta un 40% en la parte superior.

Zona IV **(300 cm – 190 cm).**
Se caracterizó por el dominio de la vegetación de páramo con valores que variaron entre 45 - 80%; la vegetación de la franja altoandina y andina disminuyó en comparación con las otras zonas. Se subdividió en tres subzonas, así:

Subzona IVa (300 cm – 270 cm).
Se mantuvo el dominio de la vegetación de páramo (70%); los taxones más importantes fueron Asteraceae (55%), Ericaceae (7%), *Hypericum* (10%) y *Lachemilla* (7%); Poaceae, Apiaceae, *Eryngium*, *Lysipomia* y *Arcytophyllum* disminuyeron drásticamente en esta subzona. Los bosques altoandinos de *Weinmannia* (15%) sustituyeron a los de *Myrica* y Melastomataceae de la subzona anterior. En el bosque andino (15%) fueron importantes *Miconia* (10%), *Clusia* (5%), Myrsinaceae (5%) y *Xylosma* (5%) mientras que *Ilex* y *Hedyosmum* desaparecieron. En la planicie, el bosque de *Alnus* (60%) disminuyó comparativamente con la subzona anterior. Los elementos de pantano estaban representados

por *Salix* (5%) y Cyperaceae (5%). La vegetación acuática aumentó con Zygnemataceae (5%). Las esporas de helechos disminuyen y el único elemento representativo era Monolete psilado (10%).

Subzona IVb (270 cm – 210 cm).
Dominaba la vegetación de páramo que alcanzó valores de 80%; especialmente por Poaceae (50%), *Hypericum* (10%), Ericaceae (15%), Urticaceae y Solanaceae (5%), mientras que Asteraceae (10%) se redujo en comparación con la subzona anterior. El bosque altoandino disminuyó (15%), como taxones importantes figuraban *Weinmannia* (10%) y Melastomataceae (5%). El bosque andino tenía valores similares a la subzona anterior (20%) y presentó como taxones representativos a *Miconia* (7%), *Clethra* (7%), Myrsinaceae (10%) y *Clusia* (5%). En la planicie, el bosque de *Alnus* aumentó en comparación con la subzona anterior con valores entre 140 y 200%. La vegetación de pantano tenía valores menores al 5%; mientras que la acuática aumentó con elementos como *Mougeotia* (15%) y *Spirogyra* (10%) en la parte baja y *Botryococcus*(10%) en la parte superior. Las esporas de helechos (90%) aumentaron significativamente, *Jamesonia* (45%) y Monolete psilado (10%) fueron los más importantes.

Subzona IVc (210 cm – 190 cm).
La vegetación de páramo (75%) dominó, especialmente por los valores de Asteraceae (45%), *Hypericum* (17%) y Ericaceae (15%). A su vez disminuyeron *Lysipomia* y *Arcytophyllum* y las Poaceae desaparecieron. En el bosque altoandino (15%), aumentó *Myrica* (13%) mientras que disminuyó *Weinmannia* (5%) y Melastomataceae (2%). En el bosque andino (20%), desaparecieron *Clusia* y *Podocarpus* y aumentaron su representación *Panopsis* (5%), *Miconia* (10%) y Myrsinaceae (4%). En la planicie, el bosque de *Alnus* disminuyó gradualmente hasta llegar al 30%. La representación del pantano aumentó ligeramente por la presencia de *Hydrocotyl*e (5%) y Cyperaceae (4%), en tanto que la vegetación acuática (15%) tenía como su mayor representación a *Botryococcus* (10%). Las esporas de helechos mantuvieron valores similares a los de la subzona anterior (90%), con taxones importantes como *Jamesonia* (80%) y Monolete verrugado (10%).

RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL DEL VALLE DE TENJO

Con base en la correlación de los pozos Ingeominas I, Funza II y la cronoestratigrafía establecida por Van der Hammen (1995), se pudo inferir que en un lapso de 20.000 años, entre 40.000 – 21.000 A.P., la reconstrucción de los cambios en la vegetación y la estimación de las variaciones climáticas, permitieron establecer eventos en las cuales sobre las laderas cercanas y en las partes altas predominó la vegetación de páramo, y otras donde ésta fue sustituida por vegetación andina. La secuencia detallada y la relación con otros eventos registrados en la Sabana de Bogotá y en una parte de la Cordillera Oriental, muestran los siguientes hechos:

En la zona I, con edad estimada de 39.000 a 33.500 años A.P. en las laderas altas contiguas al sitio de estudio, dominaba la vegetación de páramo. En las laderas medias se establecían los bosques de *Weinmannia* y Melastomataceae, mientras que hacia las laderas bajas se establecieron los bosques de *Podocarpus* y *Clusia*. En la planicie un bosque dominado por *Alnus,* característico de zonas inundables se encontraba al lado de algunas zonas pantanosas. En general para la zona las condiciones de temperatura y humedad fueron más bajas que la actual. Las subzonas Ia, Ib y Ic registraron condiciones similares a las del interestadial de Tenjo (39.000 y 36.000 años A.P.) durante el cual la vegeta-

ción de la Sabana de Bogotá era similar a la que actualmente se presenta. Elementos como *Weinmannia* y Melastomataceae representaban el bosque altoandino aunque en algunos periodos eran sustituidos por *Myrica,* probablemente *Myrica pubescens* típica de procesos de sucesión en estos ambientes (Rangel & Lozano 1986). Hacia las laderas altas predominaba Asteraceae, *Hypericum* y Ericaceae que formaban un matorral parecido al cordón de Ericáceas que se distribuye actualmente en las zonas paramunas de la Cordillera Oriental (Rangel 2000). La subzona Id con condiciones muy parecidas al estadial de Faca (36.000 y 33.500 años A.P.) (Van der Hammen, 1995) es el reflejo de un descenso de temperatura y de una humedad alta, con predominio de la vegetación de páramo que alcanzó su máximo, especialmente por el aumento de Poaceae y Asteraceae; el bosque altoandino disminuyó desapareciendo casi por completo la representación de Melastomataceae. De manera similar el bosque andino disminuyó, excepto *Podocarpus* que aumentó considerablemente.

La zona II, es el reflejo de un ambiente dominado por vegetación andina con especies de *Miconia*, *Panopsis* e *Ilex* y altoandinas como *Weinmannia*, indicando así un aumento de la temperatura y un descenso ligero de la humedad que permitió el desarrollo de este tipo de bosque. El comportamiento climático y los eventos fitoecológicos son similares a los que se presentaron en la parte inferior del interestadial del Santuario (33.500 y 28.000 años A.P.) que se caracteriza por ser un periodo con condiciones relativas de mejoramiento de temperatura y descenso ligero de humedad (Van der Hammen, 1995).

En la zona III, nuevamente predominó la vegetación de páramo, la vegetación andina disminuyó siendo sus espacios ocupados por la vegetación altoandina; presentándose condiciones secas debido a la disminución de la temperatura y la humedad. Igualmente, en la planicie, el bosque de *Alnus* disminuyó y el espejo de agua casi desapareció. Las subzonas IIIa y IIIb, presentaron un gradual aumento de la vegetación de páramo principalmente por los elementos de matorral y a su vez una disminución del bosque altoandino. Los cambios climáticos que se detectaron eran similares a los que se presentaron en el interestadial del Santuario, periodo en el cual, el lago de la Sabana de Bogotá desapareció (Van der Hammen, 1995). La subzona IIIc presentó las condiciones más frías y secas de todo el perfil, posiblemente corresponde a una de las variaciones frías de la parte inferior del estadial del Güicán (28.000 y 24.000 años A.P.). En este periodo se encuentra en su máxima representación la vegetación de páramo con *Hypericum*, Ericaceae, Apiaceae y *Arcytophyllum* y probablemente en las partes altas habían charcos o áreas muy abiertas con *Plantago* y *Gunnera*.

En la zona IV, se mantuvo el dominio de la vegetación de páramo en las laderas altas y medias prevaleciendo una baja temperatura y una humedad mayor. El bosque altoandino se restringió al igual que el bosque andino. En la planicie el bosque de *Alnus* se recuperó formando bosques pantanosos. En la subzona IVa se detectaron cambios climáticos similares a los que se presentaron en la segunda oscilación fría de la parte superior del estadial Güicán; en las partes altas dominaban los matorrales, en las laderas medias se conservaron únicamente los bosques de *Weinmannia* y en la planicie el espejo de agua aumentó junto con algunas zonas de pantano. Las subzonas IVb y IVc corresponden probablemente al interestadial Saravita (24.000 y 21.000 años A.P.), periodo en el cual se presentó un mejoramiento en las condiciones climáticas con recuperación de la vegetación andina en las laderas medias y bajas, mientras que en las partes altas predominaba la vegetación de páramo con una sustitución de los matorrales por pajonales debido a la dis-

minución en la temperatura. En la planicie, el bosque local de *Alnus* se recuperó gracias al aumento de la humedad. Esta condición se relaciona con el tipo de suelo descrito en la sección estratigráfica donde se intercalan suelos arcillosos producto de inundaciones frecuentes y turba como producto de poca inundación (Van der Hammen 1998). En las laderas medias se establecieron bosques de *Weinmannia* y Melastomataceae, probablemente muy similares en su composición florística con la asociación *Weinmannietum tomentosae* descritas por Cuatrecasas (1934) y Van der Hammen & González (1963). En las laderas bajas, los bosques de *Xylosma* eran similares al bosque andino bajo de *Xylosma spiculifera* y *Daphnopsis caracasana* (Cortés et al. 1999). La composición florística de los bosques de *Ilex* debió ser parecida a la del bosque de *Ilex kuntiana*, *Vallea stipularis* y *Myrcianthes leucoxyla* (Van der Hammen & González 1963). El bosque de *Alnus* en la planicie se asemejaba a los actuales parches de *Alnus acuminata* en zonas inundables (Van der Hammen & González 1963, y Cortés et al. 1998).

CONSIDERACIONES FINALES

Curva de temperatura

La curva de variación de la temperatura y del límite superior del bosque en la sección Tenjo V (Figura 4), presenta el reflejo de eventos climáticos drásticos que permitieron relacionarlos con la curva de temperatura registrada por Van der Hammen (1995):

Un periodo de condiciones frías y húmedas no extremas, registrado en la sección Tenjo V en las subzonas Ia, Ib y Ic, corresponde al interestadial de Tenjo representado en Fúquene III (Van der Hammen, 1995) entre 10.7 y 10 m. Los alrededores de Fúquene estaban cubiertos por vegetación dominada por especies de Acaena/*Polylepis* y Asteraceae. Su edad debe encontrarse aproximadamente entre 39.000 y 36.000 años A.P.

Un periodo frío y húmedo registrado en la zona Id, equivale al estadial de Faca representada en Fúquene II (Van der Hammen 1995) debajo de aproximadamente 11.5 m. Los alrededores de Fúquene se hallaban entonces cubiertos por vegetación de páramo. La edad de esta fase estadial debe estar entre aproximadamente 36.000 y 33.500 años A.P.

Un periodo cálido prolongado con condiciones secas registradas en la zona II y subzonas IIIa, IIIb, corresponden al interestadial del Santuario, representado en Fúquene II entre aproximadamente 10 m y 11.5 m de profundidad, y también en Zipaquirá I y II (Van der Hammen 1995) entre 27.905 ± 410 y 32.890 ± 660 años A.P. Fúquene estaba entonces rodeado de vegetación con especies de *Acaena/Polylepis*, Zipaquirá por vegetación de la región andina y de la franja altoandina hasta subpáramo. La edad se estima entre aproximadamente 28.000 y 33.500 años A.P.

Entre 28.000 y 24.000 años A.P. se registró un periodo con dos oscilaciones muy frías y de poca humedad registrados en las subzonas IIIc y IVa de la sección Tenjo V, correspondiente al estadial Güicán. Fúquene se hallaba dominada por vegetacíon de páramo (Van der Hammen 1995).

Entre 24.000 y 21.000 años A.P., se presentó un mejoramiento gradual de las condiciones climáticas, como se registró en las subzonas IV b y IVc de Tenjo V, corresponden al interestadial de Saravita. En este periodo Fúquene se hallaba cubierta por bosques de *Acaena/Polylepis* (Van der Hammen 1995).

Relación con otras secciones de la Sabana de Bogotá

Los principales eventos que permitieron establecer una relación entre las zonas de polen con los pozos Ingeominas I y Funza II (Figura 5), fueron los dos períodos fríos con condiciones húmedas registrados en la subzona Ia y Id de Tenjo V, que en

el pozo Ingeominas I y Funza II corresponden a los dos periodos fríos de la parte superior de la subzona 5a y a la parte media de la subzona F2-3, respectivamente. El óptimo climático registrado en la zona II de Tenjo V, corresponde al límite superior de la subzona 5a de los pozos Ingeominas I y Funza II donde se observa un mejoramiento de las condiciones climáticas y los valores máximos (%) de elementos andinos registrado en la subzona F2-3. Por último, el deterioro de las condiciones climáticas (frío y seco) que se registra en la subzona IIIc, Tenjo sección V, en el pozo Ingeominas I y Funza II corresponde a la parte superior de la subzona F 2-3 y a la subzona 5b, cuando la temperatura descendió aún más en comparación con la subzona 5a y donde se presentaron condiciones secas con disminución de la precipitación.

Las zonas I y II de Tenjo reflejan las condiciones climáticas que se presentaron durante la parte superior del Pleniglacial Medio, mientras que las zonas III y IV los de la parte inferior del Pleniglacial tardío.

AGRADECIMIENTOS

A Thomas Van der Hammen y a Sergio Gaviria por su constante apoyo y por sus comentarios metodológicos para la realización del trabajo. A la Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales, Laboratorio de Palinología, por el apoyo logístico. A Giovanni Bogotá, Luis Carlos Jiménez y Juan Carlos Berrío por su magnífica colaboración.

LITERATURA CITADA

Blackmore, S., W. Punt., S. Nilsson & A. Le Thomas. 1994. Glossary of Pollen and Spore Terminology. Laboratory of Paleobotany and Palynology. LPP Foundation, Utrecht,. LPP Contribution series No 1: 71 pp. The Netherlands.

Bogotá, R.G, S.J. Lamprea & J.O. Rangel-Ch. 1996. Atlas palinológico de la clase Magnoliopsida en el Páramo de Monserrate. El Páramo: ecosistema a proteger, serie Montañas Tropoandinas. Volumen 2: 131 –191. Fundación Ecosistemas Andinos ECOAN. Bogotá.

Cleef, A.M. 1981. The vegetation of the páramos of the Colombian Cordillera Oriental. Dissertationes Botanicae, Band 61: 320 pp. J. Cramer. Vaduz.

Cortés, S., T. Van Der Hammen & J. O. Rangel-Ch. 1998. Caracterización florística de la cuenca Alta del Río Bogotá. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Informe final Universidad Nacional de Colombia Instituto de Ciencias Naturales. 89 pp. Santafé de Bogotá.

Cortés, S., T. Van der Hammen & J. O. Rangel-Ch. 1999. Comunidades vegetales y patrones de degradación y sucesión en la vegetación de los cerros occidentales de Chía-Cundinamarca-Colombia. Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 23 (89): 529- 554.

Cuatrecasas, J. 1934. Observaciones geobotánicas en Colombia. Trabajos del Museo de Ciencias Naturales (Madrid). Serie Botánica 27: 1 – 44.

Cuatrecasas, J. 1958. Aspectos de la vegetación natural en Colombia. Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 10 (40): 221 – 268.

Dueñas, H. 1977. Estudio palinológico de los 35 metros superiores de la Sección Tarragona, Sabana de Bogotá. Caldasia, 12 (60): 539 –571.

Erdtman, G. 1952. Pollen morphology and plant taxonomy angiosperms. Chronica Botanica Co., Waltham, Mass. (Reeditado en 1971 y 1986, 553 p., Hafner Publ. Co.), Nueva York.

Erdtman, G. 1986. Pollen morphology and plant taxonomy. Angiosperms. An introduction to palynology. J.Brill, Leiden. 553 pp. The Netherlands.

Faegri, K. & J. Iversen. 1975. Textbook of pollen analysis. Hafner pub. Co., 295 pp. Nueva York.

GORDILLO, E. A. & E. TORRES. 1983. Aspectos geográficos del cultivo de papa en Tenjo. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

GRIMM, E.C. 1987. CONISS: A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of the incremental sum squares. Computers and Geosciences 13: 13-35.

HELMENS, K. F. 1990. Neogene-Quaternary geology of the high plain of Bogotá, Eastern Cordillera, Colombia (stratigraphy, palaeoenvironments and landscape evolution). En: (T. Van der Hammen, ed.) El Cuaternario de Colombia 17: 210 pp. Ámsterdam.

HOOGHIEMSTRA, H. 1984. Vegetational and climatic history of the high plain of Bogotá, Eastern Cordillera, Colombia: a continuos record of last 3.5 million years. En: (T. Van der Hammen, ed.) El Cuaternario de Colombia 10: 368 pp. Amsterdam.

HOOGHIEMSTRA, H. 1995. Los últimos tres millones de años en la sabana de Bogotá: Registro continuo de los cambios de vegetación y clima. Análisis Geográficos. 24: 33-50.

HOOGHIEMSTRA, H. & G. SARMIENTO. 1991. New long continental pollen record from a tropical intramontane basin: Late Pliocene and Pleistocene history from a 540m core. Episode 14: 107 -115.

HOOGHIEMSTRA, H. & E. T.H. RAN. 1994. Late and middle Pleistocene climatic change and forest development in Colombia: pollen record Funza II (2 – 158 m core interval). Palaeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 109: 211 – 246.

IGAC. 1995. Plioceno y Cuaternario de Bogotá y alrededores. Análisis Geográficos 24: 141 pp. Bogotá.

KURHY, P. 1988. Palaeobotanical-Palaeoecological studes of tropical high Andean peatbog sections (Cordillera Oriental, Colombia). En: T. Van der Hammen (ed.). El Cuaternario de Colombia. 14: 241 pp. Amsterdam.

RANGEL-CH., J. O. & G. LOZANO-C.1986. Un perfil de vegetación entre La Plata (Huila) y el Volcán Puracé. Caldasia 14 (68-70): 53-547.

RANGEL-CH., J.O. 1991. Vegetación y ambiente en tres gradientes montañosos de Colombia. Tesis de Doctor en Biología. Universidad de Amsterdam. 349 pp.

RANGEL-CH., J.O. 2000. Tipos de vegetación. **En:** J. Orlando Rangel-Ch. (ed.). Colombia Diversidad Biótica III. La región de vida paramuna. 658-719. Instituto de Ciencias Naturales-Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá.

ROUBIK, D.W & J. E. MORENO. 1991. Pollen and spores of Barro Colorado Island. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden. 36: 270 pp.

SALOMONS, J.B. 1986. Palaeoecology of volcanics soils in the Colombian Central Cordillera (Parque Natural de Los Nevados). En: T. Van der Hammen (ed.). El Cuaternario de Colombia. 13: 212 pp. Amsterdam.

STURM, H. & J. O. RANGEL-CH. 1985. Ecología de los páramos andinos: Una visión preliminar integrada. Biblioteca José Jerónimo Triana 9: 292 pp. Instituto de Ciencias Naturales, Museo de Historia Natural, Bogotá.

TORRES, V. 1995. Análisis paleoclimático con base en palinología de los sesenta metros superiores del pozo Ingeominas –I y su relación con los depósitos lacustres de las Sabana de Bogotá. Tesis de Grado. Departamento de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

VAN DER HAMMEN, T. 1986. La Sabana de Bogotá y su lago en el Pleniglacial Medio. Caldasia 15: 249-262.

VAN DER HAMMEN, T. 1995. Estudio del Plioceno y Cuaternario de Colombia: La ultima Glaciación en Colombia (Glaciación Cocuy; Fuquense). Análisis Geográficos 24: 69- 89.

VAN DER HAMMEN, T. 1998. Plan ambiental de la cuenca alta del río Bogotá. Análisis y

Orientaciones para el ordenamiento territorial. CAR. 142 pp. Bogotá.

VAN DER HAMMEN, T. & E. González. 1963. Historia del clima y la vegetación del Pleistoceno Superior y del Holoceno de la Sabana de Bogotá. Boletín Geológico (Ingeominas, Bogotá), 11 (1-3): 189-266.

VAN'T VEER, R. & H. HOOGHIEMSTRA. 2000. Montane forest evolution during the last 650,000 yr in Colombia: a multivariate approach based on pollen record Funza-1. Journal of Quaternary Science 15 (4): 329-346.

VELÁSQUEZ, C. A. & J. O. RANGEL. 1995. Atlas palinológico de la flora vascular del páramo I. Las familias más ricas en especies. Caldasia 17 (82 – 85): 509 –568.

Recibido: 08/06/2001
Aceptado: 18/02/2002